

AnyVAD 혈액주머니의 3차원 혈류에 대한 수치적 해석

심은보* · 여종영* · 고희종* · 박찬영** · 민병구**

1. 서 론

한국형 인공심장은 1980년대 중반 서울의대 의공학 과탐에 의해 개발되었다⁽¹⁾. 그 이후 많은 설계변경과 동물실험을 거쳐 인체임상실험의 직전 단계에 이른 상태이다. 현재는 개발 초기의 설계 목적인 완전이식형 인공심장으로의 기능 뿐 아니라 양심실 혹은 좌심실보조장치인 AnyVAD로서의 기능을 수행할 수 있도록 개량되었다. 이와 같은 기능의 다양화는 궁극적으로 인공심장의 실용화에 크게 기여하게 될 것이다. 그러나 그 동안의 훌륭한 동물실험결과 및 다양한 설계변경에도 불구하고, 혈전생성 최소화를 위한 혈액주머니 설계에 좀 더 많은 연구가 요구되고 있는데, 이를 위한 많은 실험 및 이론 연구가 진행되고 있다.

본 연구에서는 현재 개발 완성 단계에 이른 한국형 AnyVAD의 혈액주머니 내 혈류의 3차원 현상을 수치적으로 해석하고 이에 대한 자세한 계산결과를 제시한다. 혈액주머니 내의 비정상 혈류운동을 모사하기 위하여 이동경계 현상 및 고체-유체의 상호작용이 포함된 3차원 모델링 방법을 적용한다. 이와 같은 3차원 고체-유체 상호작용 해석을 위한 수치해석 방법으로는 유한요소 상용코드인 ADINA코드⁽²⁾를 사용한다.

2. 본 론

2.1 계산모델

본 연구에서 대상으로 하는 인공심장 모델은 선인장 형태의 AnyVAD로서 다음 그림 1에 나타나 있다. Fig. 1에서 보듯이 양쪽의 혈액주머니는 Moving actuator의 왕복운동에 의해 수축과 이완을 반복하게 된다.

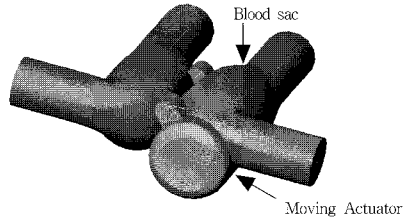


Fig. 1 Schematic of computational model of AnyVAD

여기에서는 대칭적인 운동을 가정하여 한쪽의 혈액주머니만을 해석하였다. 본 연구에서는 actuator에 의한 효과를 모사하기 위하여 혈액주머니 표면에 시간에 따른 압력을 경계조건으로 사용하여 실제 변형되는 형상과 유사하도록 처리하였다. 그리고 혈액주머니재질과 혈류와의 3차원 고체-유체 상호작용을 가정하였다. 이때 혈액은 비압축성 유체로서, 혈액주머니는 선형 등방성 고체로서 가정하여 해석한다. 이와 같은 고체-유체 상호작용을 해석하기 위하여 유한요소 상용소프트웨어인 ADINA코드를 사용한다. Fig. 2는 입구에서 사용한 압력조건을 도시한 것이다.

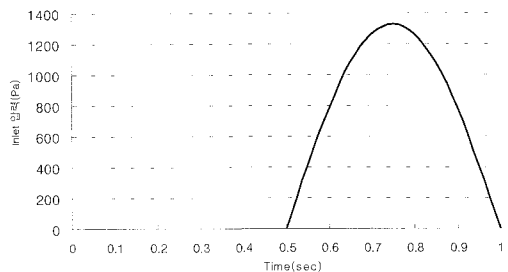


Fig. 2 Inlet pressure variation during a cardiac cycle

* 금오공과대학교 기계공학부

** 서울대 의대 의공학과

여기에서 보듯이 한 심장주기는 1초로 구성되어 있으며, 수축과 이완기는 각각 0.5초로 구성되어 있다. 0-0.5초 사이는 수축기가 되며 0.5-1.0초는 이완기가 되는데, 이완기에는 입구에서 유동이 흡입된다.

2.2 계산결과 및 검토

다음 Fig. 3은 변형된 혈액주머니 표면 형상이다.

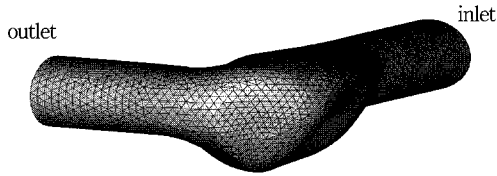


Fig. 3 The deformed shape of the blood sac

수축기에는 actuator의 운동에 의하여 출구쪽으로 혈류가 밀려나가며, 이완기에는 입구에서 혈류가 흡입된다. 다음 Fig. 4는 수축기의 한 시점에서 각 단면에서의 속도벡터를 나타낸 것이다.

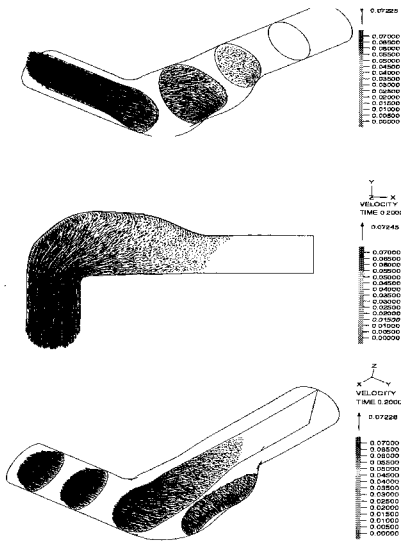


Fig. 4 The velocity vectors in the three cutting planes during systole.

그림에서 보듯이 주로 출구부근에서 속도가 빠르며, 입구부근에서는 주로 정체상태의 혈류가 형성됨을 알 수 있다. Fig. 5는 수축기의 한 시점에서 전단응력의 분포를 도시한 것으로서 혈전생성에 대한 판단자료로서 활용될 수 있다.

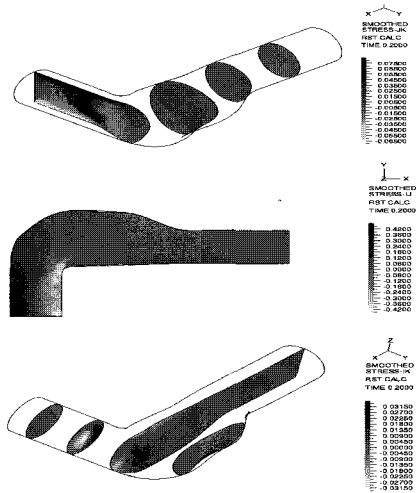


Fig. 5. The distribution of shear stress in the three cutting planes during systole

그림에서 보듯이 응력의 급격한 변화는 주로 출구 부근에서 발생하며, 출구의 벽쪽에서 응력의 절대값들이 크다는 것을 알 수 있다.

3. 결 론

본 연구에서는 선인장 형태의 한국형 인공심장의 혈액주머니 내 혈류에 대한 3차원 유체-고체 상호작용 문제를 수치적으로 해석하였다. 혈액주머니의 이완시 입구에서 혈류가 유입되며, 수축시 출구로 혈류가 유도됨을 알 수 있었으며, 전단응력은 주로 출구 벽면 근처에서 급격한 변화를 가진다.

후 기

이 연구는 보건복지부의 G7 연구에 의해 지원됨

참고 문헌

- (1) J. K. Chang, et al., 1993, "A human model of the moving-actuator type TAH," *Heart Replacement : Artificial Heart*, Vol. 4, pp. 133-138.
- (2) K. J. Bathe, H. Zhang, and M. H. Wang, Finite Element Analysis of Incompressible and Compressible Fluid Flows with Free Surfaces and Structural Interactions. *Computers and Structures*. 1995 ; 56 : 193-213.